

УДК 621.923

Л.П. КАЛАФАТОВА, д-р техн. наук, Красноармейск, Украина

Д.В. ПОКОЛЕНКО, канд. техн. наук, Константиновка, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ НА КАЧЕСТВО ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СИТАЛЛОВ

Запропоновано підхід до розробки математичної моделі формування дефектного шару в процесі алмазного шліфування деталей із ситалів. При експериментальному моделюванні контакту алмазного зерна з оброблюваною поверхнею встановлено, що з підвищенням динамічної дії на неї підвищується інтенсивність дефектоутворення, що негативно вплине на міцність виробів із ситалів.

Предложен подход к разработке математической модели формирования дефектного слоя в процессе алмазного шлифования деталей из ситалла. При экспериментальном моделировании контакта алмазного зерна с обрабатываемой поверхностью установлено, что с увеличением динамического воздействия на нее возрастает интенсивность дефектообразования, что отрицательно скажется на прочностных свойствах изделий из ситаллов.

An approach to the development of a mathematical model of the formation of the defect layer in the process of diamond grinding of glass-ceramic pieces. Experimental modeling of diamond grain contact with the treated surface showed that the intensity of defects increases with increasing of the dynamic effects. This will affect the strength of ceramics products.

Введение

Повышение эффективности механической обработки, прежде всего за счет обеспечения высокого качества формируемой поверхности и, как следствие, выпускаемой продукции, является одним из основных направлений развития современного машиностроения. Известны основные технологические способы повышения качества обработки изделий машиностроения [1], включающие виды, схемы и режимы обработки, характеристики режущих инструментов, свойства используемых

технологических сред, динамическое состояние элементов технологической системы резания и т.д. При обработке различных по физико-механическим свойствам конструкционных материалов изменяются приоритеты в использовании тех или иных способов повышения качества обрабатываемой поверхности.

На современном этапе развития науки и техники существует тенденция повышения объема производства изделий из хрупких неметаллических материалов (ХНМ), которые все более широко заменяют металлы во многих отраслях промышленности. К этим материалам, прежде всего, относятся различные виды технической керамики, включая стеклокристаллическую керамику – ситаллы.

Однако рост применения ХНМ в качестве конструкционных материалов сдерживается по причине трудностей, возникающие при обеспечении высокой точности и качества поверхности изделий при механической обработке, которая, в основном, осуществляется алмазными абразивными инструментами. Это связано, с одной стороны, с высокими показателями прочности и повышенной хрупкостью материалов рассматриваемого класса, с другой стороны – с неэффективными технологическими процессами обработки, причиной которых в значительной мере является недостаточный объем знаний о механизмах формирования качественного поверхностного слоя изделий при алмазном шлифовании. Установлено, что даже мягкие режимы шлифования приводят к созданию дефектного слоя – сетки микротрещин, которые расположены на поверхности обрабатываемых материалов и распространяются в глубину на 200 – 700 мкм для ситаллов и до 50 мкм для конструкционной керамики. Все это является причиной снижения механической прочности изделий или требует дополнительных, трудоемких операций, связанных с необходимостью удаления дефектного слоя.

На структуру поверхностного слоя деталей вместе с пористостью и размерами кристаллов самого обрабатываемого материала влияют, как было сказано выше, также технологические условия обработки: схема и режимы шлифования, состав технологических сред, характеристики алмазных кругов, изменяющие силовой, динамический и температурный режимы процесса резания. Поэтому выбор перечисленных параметров

необходимо осуществлять в строгой зависимости от требуемого качества изделий и свойств заготовки, используя знания об их влиянии на условия процесса шлифования, интенсивность развития нарушенного обработкой слоя деталей. В современной литературе такие данные практически отсутствуют, особенно по вопросам, касающимся температурных и динамических характеристик процесса резания.

Наличие дефектного или трещиноватого слоя характерно для всех видов абразивной обработки ХНМ (шлифования свободным абразивом, абразивными и алмазными кругами, механического полирования) [2]. Глубина дефектного слоя зависит от интенсивности процессов диспергирования, уменьшаясь от черновых к чистовым операциям обработки. При этом сформированный дефектный слой кардинальным образом влияет на эксплуатационные свойства изделий из хрупких материалов и, прежде всего, на их прочность [3]. Несовершенства ТП обработки, сопровождающиеся появлением вибраций в системе резания в сочетании с повышенным динамическим силовым воздействием на обрабатываемую поверхность (особенно на операциях чернового шлифования), приводят к появлению развитого приповерхностного дефектного слоя [4]. Глубина его проникновения может достигать более 300 мкм, что отрицательно сказывается на трудоемкости последующих доводочных операций, а в случае неполного удаления дефектов, может сопровождаться разрушением изделий при эксплуатации.

Для обеспечения эксплуатационных характеристик изделий необходимо иметь четкое представление о влиянии входных параметров ТП обработки изделий из ситаллов, в том числе динамического фактора, на показатели дефектности, прежде всего, на глубину и структуру нарушенного обработкой слоя. Исследование закономерностей формирования дефектного слоя в изделиях из ситаллов предполагает разработку экспериментально-аналитической модели развития дефектного слоя при их шлифовании с учетом влияния силового и динамического воздействий на формируемую поверхность. Это позволит регламентировать технические требования к элементам технологической обрабатывающей системы и выбрать рациональные условия обработки при изготовлении определенных изделий.

Абразивное диспергирование ХНМ непосредственно связано с механизмами деформации и разрушения в поверхностном слое, поскольку оно сопровождается локальной деформацией и отрывом частиц. Для изучения процессов абразивного диспергирования используются методы моделирования отдельных фаз этих процессов (статическое воздействие - вдавливание, скольжение или перекатывание по поверхности) на примере взаимодействия индентора определенной формы (модели абразивного зерна) с обрабатываемой поверхностью [5]. Для большего приближения исследуемой модели к реальным процессам резания при шлифовании необходимо кроме статического вдавливания зерен учесть также их динамическое, ударное воздействие на формируемую поверхность, вызывающее колебания в зоне микрорезания, которые генерируют ударные волны, распространяющиеся в заготовке и алмазном зерне [5, 6], и влияют на развитие дефектного слоя в ОМ.

Целью настоящей работы является проведение комплекса исследований по определению степени влияния динамического воздействия на развитие дефектного слоя в ситалле при приложении к его поверхности ударной сосредоточенной нагрузки, что послужит основой для разработки модели развития дефектного слоя при шлифовании ситаллов с учетом влияния силового и динамического факторов.

Основное содержание работы

Для моделирования влияния ударного воздействия алмазного зерна на формирование дефектного слоя в ситалле были проведены экспериментальные исследования, связанные с определением влияния ударного воздействия зерна-индентора в виде стального шарика на формирование дефектного слоя в ситалле. Эксперимент проводился в условиях лаборатории научно-производственного отдела Константиновского государственного научно-производственного предприятия «Кварсит».

Образцы из ситалла АС-418 размерами 60х60х15 мм устанавливались на предметный столик приспособления, а стальные шарики диаметром $D\ 19$ и $D\ 20,5$ мм (массой, соответственно, 0,028 и 0,039 кг) – на электромагнитную плиту. После отключения электромагнита осуществлялся контакт шариков с поверхностью образцов при их падении с

высоты h : 400, 800, 1200, 1600, 2000, 2400 мм. Картина развития дефектов в исследуемых образцах после удара определялась с помощью метода люминесцентной дефектоскопии в сочетании с послойным химическим травлением образцов с шагом 10 мкм. Наблюдение за послойным развитием дефектного слоя осуществлялось, начиная от исходной поверхности образца (зона контакта образца с шариком) до поверхности, соответствующей отсутствию дефектного слоя, образовавшегося в результате удара.

По результатам наблюдений обнаружено возникновение трещиноватого слоя в зоне контакта на ситалловых образцах, подвергшихся удару шариками обеих масс при их падении с высоты 2000 - 2400 мм. При этом на поверхности образцов образуется система круговых (кольцевых) трещин, распространяющихся вглубь материала, также как и при статической нагрузке [7]. На поверхности образца остается остаточный отпечаток радиусом a , величина которого зависит от диаметра шарика, его массы и высоты падения, определяющих внесенную в образец кинетическую энергию при ударе (таблица). В таблице y/a – относительное расстояние распространения кольцевых трещин, вызванных ударом.

Таблица – Характеристики зоны контакта шарика и образца ситалла

№ образца	Высота падения шарика h , м	Масса шарика m , кг	Радиус отпечатка, a , мм	Радиус круговой трещины:		Кинетическая энергия падения шарика E_k , Дж	y/a
				максимальный y_2 , мм	минимальный y_1 , мм		
1	2,0	0,028	0,462	0,640	0,465	0,55	1,0 - 1,4
2	2,0	0,039	0,681	1,092	0,834	0,76	1,2 - 1,6
3	2,4	0,039	0,737	1,103	0,940	0,91	1,2 - 1,5

На рис. 1 показана схема формирования трещиноватого слоя в образце при ударе шариком, имитирующем действие алмазного зерна. Поверхностные трещины сначала распространяются вертикально, а потом поворачиваются, образуя конические трещины Герца.

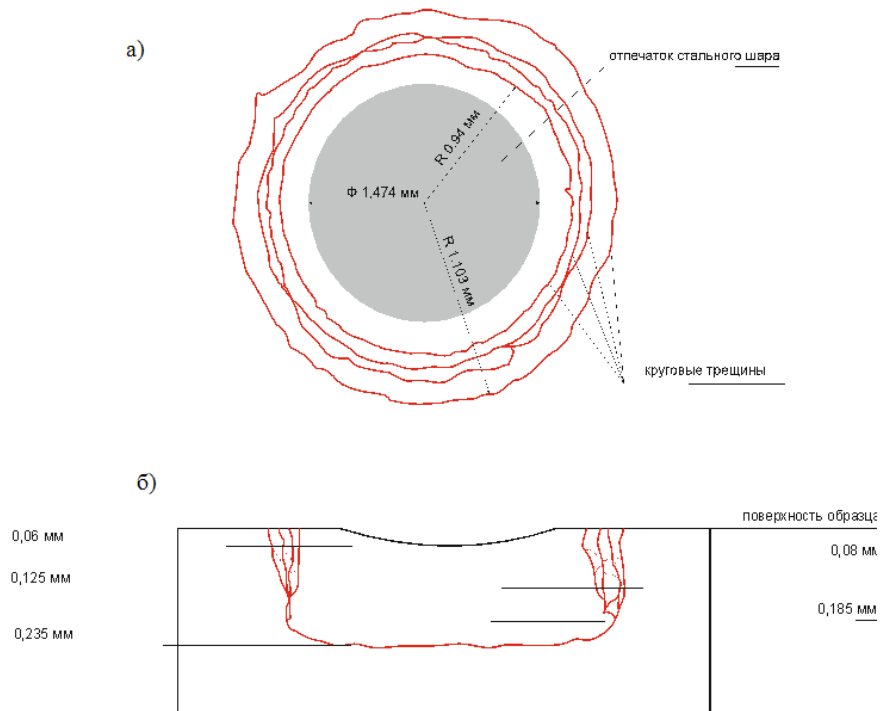


Рисунок 1 – Схема формирования трещиноватого слоя в ситалловом образце после удара:

- а – возникновение круговых трещин на поверхности образца;
б – распространение круговых трещин в глубину материала образца на различных уровнях залегания

На рис. 2 показана дефектность ситаллового образца, образованная в результате удара, на разных глубинах залегания от поверхности. При ударном воздействии рост, слияние трещин и образование обломков выкрашивания, которое происходит в основном в центре контакта под отпечатком, происходят одновременно в различных точках материала [8].

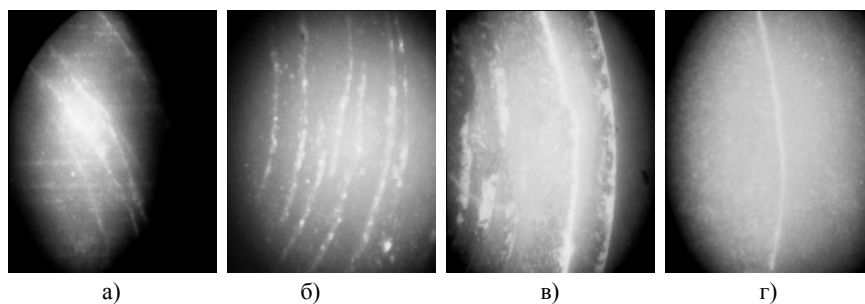


Рисунок 2 – Дефектность образца ситалла АС-418, сформированная в результате ударного воздействия шариком с кинетической энергией $E_k=0,548$ Дж, на различных глубинах залегания: а – 0 мкм; б – 30 мкм; в – 130 мкм; г – 220 мкм (увеличение x100)

Конические трещины образуются не только с поверхности, но и из зоны под пятном контакта. Это приводит к увеличению на определенной глубине, соответствующей 30...60 мкм, числа конических трещин (см. рис. 2, фотографии а и б). На глубине залегания порядка 60-80 мкм происходит разветвление круговых трещин на более мелкие, которые и образуют трещиноватый слой из мелких дефектов, соединяющихся между собой.

При ударе стальным шариком наиболее дефектный слой располагается на глубине от 30 до 160 мкм. Дефектность ситалла зависит от высоты падения шарика, его диаметра и массы, что определяет кинетическую энергию, вносимую в поверхностный слой образца при ударе. Критическое значение кинетической энергии, при которой происходит образование круговых трещин, составило 0,5 Дж. С увеличением энергии возрастают количество круговых трещин, их диаметр, относительное расстояние их распространения от центра пятна контакта y/a , достигающее в рассматриваемых условиях величины 1..1,6. Увеличивается также количество трещин в слое исследуемого образца на глубине 30...160 мкм. Максимальная глубина проникновения трещин также возрастает (рис. 3).

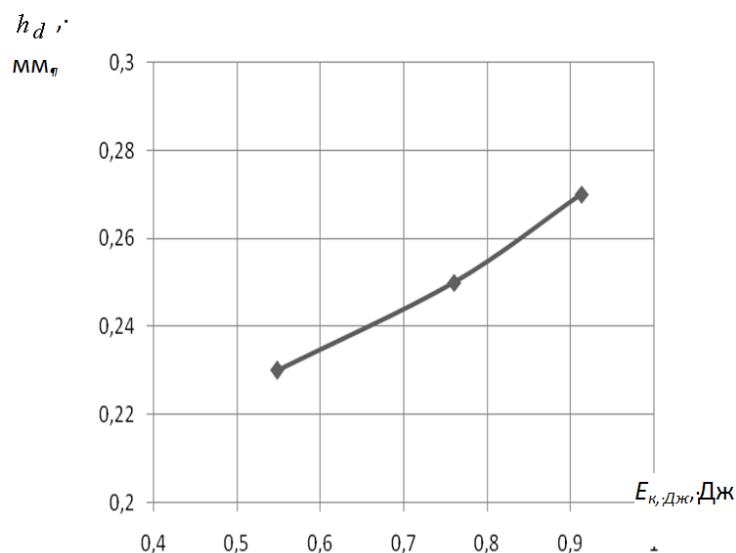


Рисунок 3 – Влияние энергии удара стального шарика по ситалловому образцу на максимальную глубину проникновения дефектов-трещин

При превышении энергии удара уровня 1,0 Дж на границе круговых трещин образуются радиальные трещины, которые приводят к разрушению образца.

Таким образом, можно заключить, что с увеличением энергии, внесенной в поверхностный слой при ударе металлического шарика по образцу из ситалла, имитирующего работу алмазного зерна, происходят увеличение глубины и ухудшение структуры его дефектного слоя. При этом при ударе шариком в поверхностном слое образца образуются в основном трещины Герца. Зависимость максимальной величины напряжения, возникающего в ОМ и приводящего к его разрушению при резании, от амплитуды колебаний A , силы прижима F и радиуса округления абразивных зерен R , согласно [9], имеет вид

$$\sigma_{\max} = 2,9n^{0,3}\eta^{0,3}A^{0,45}F^{0,7}R^{0,35}, \quad (1)$$

где n - число зерен абразива, приходящихся на единицу площади торца инструмента; η - постоянная, зависящая от свойств абразива и материала детали.

При вдавливании зерна-шарика и достижении максимальной величины силы прижима F , вызывающей максимальное напряжение σ_{\max} , на поверхности появляется круговая трещина диаметром

$$d = 2,2 \cdot \sqrt[3]{\frac{RF}{E}}, \quad (2)$$

где E – модуль упругости обрабатываемого материала.

При колебательном движении зерна в процессе абразивной обработки, соответствующем входу - выходу его из контакта с формируемой поверхностью, происходит образование трещин, ориентированных практически параллельно обрабатываемой поверхности. Пересечение радиальных трещин с боковыми трещинами приводит к образованию сколов. При этом радиус образовавшейся трещины l может быть определен следующей зависимостью [9]

$$l = 3 \sqrt[3]{\left(\frac{E_k^2}{(dK_{ID})^2} \right)}, \quad (3)$$

где K_{ID} - коэффициент интенсивности напряжений обрабатываемого материала.

Заклучение

В представленной работе было установлено, что с увеличением энергии, внесенной в поверхностный слой как при ударе металлического шарика по образцу из ситалла, так и при алмазном шлифовании, происходит ухудшение структуры дефектного слоя изделий. С увеличением энергии удара, имитирующей действие вибраций в технологической системе обработки, обусловленных, например, несбалансированностью шлифовального круга, происходит увеличение глубины дефектного слоя. С увеличением динамического воздействия возрастает как глубина распространения дефектного слоя, так и интенсивность дефектообразования на большей глубине, что отрицательно скажется на прочностных свойствах изделий из ситаллов.

Список использованных источников: 1. *Суслов А.Г.* Качество поверхностного слоя деталей машин / *А.Г. Суслов* – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с. 2. *Гусев В.В.* Обеспечение эксплуатационных характеристик изделий из конструкционной керамики на стадии их производства / *В.В. Гусев, Л.П. Калафатова* // Сучасні технології у машинобудуванні. / [заг. ред. А.І. Грабченко] – Харків: НТУ «ХП», Т2. – 2006. – С. 334-346. 3. *Калафатова Л.П.* Особливості механічної обробки виробів із крихких неметалевих матеріалів / *Л.П. Калафатова* // Процеси механічної обробки в машинобудуванні. Зб. наук. праць. – Житомир: ЖДТУ, 2007. – Вип. 5: к 2-х ч. – Ч. 1. – С. 72-87. 4. *Калафатова Л.П.* Особливості механічної обробки виробів із крихких неметалевих матеріалів / *Л.П. Калафатова*. // Процеси механічної обробки в машинобудуванні – 2007. – Вип. 5: в 2-х ч. – Ч. 1. – С. 72-87. 5. *Ардамацкий А.Л.* Алмазная обработка оптических деталей. / *А.Л. Ардамацкий* – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1978. – 232 с. 6. *Чмир М.Я.* Взаимосвязь технологических показателей алмазно-электрохимического шлифования, характеристик оборудования и условий обработки / *М.Я. Чмир, Н.А. Троцкий* // Электрохимические и электрофизические методы обработки материалов. – 1990. – С. 80-92. 7. *Охрименко Г.М.* Оболочки на основе промышленных стеклоэлементов при внешнем давлении / *Г.М. Охрименко* // Прочность элементов конструкций из стекла и ситалла. – К.: Наук. думка. – 1983. – С. 131-152. 8. Конструкционная прочность стекол и ситаллов / *Г.С. Писаренко* [и др.]. – К.: Наук. думка, 1979. – 284 с. 9. *Марков А.И.* Ультразвуковая обработка материалов / *А.И. Марков, А.М. Дальский* // Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 1980. – 237 с.

Bibliography (transliterated): 1. Suslov A.G. Kachestvo poverhnostnogo sloja detalej mashin / A.G. Suslov - M.: Mashinostroenie, 2000. - 320 s. 2. Gusev V.V. Obespechenie jekspluacionnyh harakteristik izdelij iz konstrukcionnoj keramiki na stadii ih proizvodstva / V.V. Gusev, L.P. Kalafatova // Suchasni tehnologii u mashinobuduvanni. / [zag. red. A.I. Grabchenko] – Harkiv: NTU «HPI», T2. - 2006. – S. 334-346. 3. Kalafatova L.P. Osoblivosti mehanichnoi obrobki virobiv iz krihkih nemetalevih materialiv / L.P. Kalafatova // Procesi mehanichnoi obrobki v mashinobuduvanni. Zb. nauk. prac'. – Zhitomir: ZhDTU, 2007. – Vip.. 5: k 2-h ch. – Ch. 1. – S. 72-87. 4. Kalafatova L.P. Osoblivosti mehanichnoi obrobki virobiv iz krihkih nemetalevih materialiv / L.P. Kalafatova. // Procesi mehanichnoi obrobki v mashinobuduvanni - 2007. – Vip.. 5: v 2-h ch. – Ch. 1. – S. 72-87. 5. Ardamackij A.L. Almaznaja obrabotka opticheskikh detalej. / A.L. Ardamackij – L.: Mashinostroenie, Leningr. otd-nie, 1978. – 232 s. 6. Chmir M.Ja. Vzaimosvjaz' tehnologicheskikh pokazatelej almazno-jelektrohimicheskogo shlifovanija, harakteristik oborudovanija i uslovij obrabotki / M.Ja. Chmir, N.A. Troickij // Jelektrohimicheskie i jelektrofizicheskie metody obrabotka materialov. - 1990. - S. 80-92. 7. Ohrimenko G.M. Obolochki na osnove promyshlennyh steklojelementov pri vneshnem davlenii / G.M. Ohrimenko // Prochnost' jelementov konstrukcij iz stekla i sitalla. - K.: Nauk. dumka. - 1983. - S. 131-152. 8. Konstrukcionnaja prochnost' stekol i sitallov / G.S. Pisarenko [i dr.].- K.: Nauk. dumka, 1979. - 284 s. 9. Markov A.I. Ul'trazvukovaja obrabotka materialov / A.I. Markov, A.M. Dal'skij // Biblioteka tehnologa. – M.: Mashinostroenie, 1980. – 237 s.